



海南东水港水动力泥沙特征研究

李孟国, 杨树森, 韩西军

(交通运输部天津水运工程科学研究所, 工程泥沙交通行业重点实验室, 天津 300456)

摘要: 东水港位于海南澄迈湾东水泻湖内。针对东水深水港的开发建设, 采用自然条件分析、岸滩演变分析、悬沙运动及岸线变化卫星遥感分析、潮流泥沙数模计算等手段, 对海南澄迈湾及东水港的水动力泥沙特征进行了分析研究。结果表明, 从水动力泥沙条件考虑, 澄迈湾东水港具备开发建设成深水大港的良好条件。

关键词: 海南岛; 澄迈湾; 东水港; 波浪; 潮流; 泥沙; 泻湖

中图分类号: TV 139.2⁺2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)06-0010-07

On hydrodynamic sediment characteristics of Dongshui Harbor

LI Meng-guo, YANG Shu-sen, HAN Xi-jun

(Key Laboratory of Engineering Sediment of the Ministry of Transport, Tianjin Research Institute for Water Transport Engineering, Tianjin 300456, China)

Abstract: Dongshui harbor is located in Dongshui lagoon of Chengmai Bay, Hainan Island. Aiming at the development and construction of deepwater Dongshui harbor, we study the hydrodynamic sediment characteristics of Chengmai bay and Dongshui harbor based on the analysis of natural conditions, beach evolution, suspended sediment movement and coastline change by remote sensing, and numerical modeling of tidal current and sediment. The results show that Dongshui harbor in Chengmai Bay possesses favorable conditions to be constructed into a deep water harbor as far as hydrodynamic sediment conditions are concerned.

Key words: Hainan Island; Chengmai Bay; Dongshui harbor; wave; tidal current; sediment; lagoon

东水港区位于海南岛北部、琼州海峡南岸澄迈湾东水泻湖内(图1)。澄迈湾东起天尾角,西至玉包角,北面是琼州海峡。澄迈湾湾顶有两个泻湖,即东水泻湖和花场泻湖,在两个泻湖内(附近),分别建有东水港和马村港。东水泻湖属沙坝泻湖,长12 km,宽100~1000 m,深-2~-5 m。在整个澄迈湾内,东水泻湖口门距离-10 m等深线仅1 km左右,因此,东水港具有很好的开发建设成10万吨级以上深水大港的水深条件。

由于东水港是建在泻湖内,为将东水港开发建设成深水大港,需要对泻湖内港区、浅滩段航道进行开挖,因此,研究合理的口门形态、航道开挖尺度、走向、防波堤布置、港区航道维护等有关工程

问题将成为开发东水港的关键问题,而对于这些关键问题的正确处理和解决需要对工程海区的水动力泥沙特征进行深入研究。

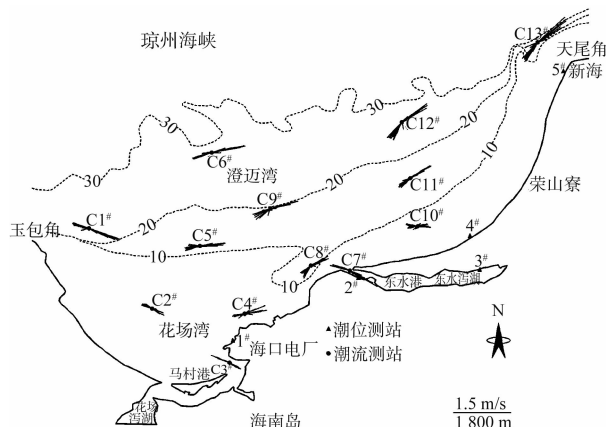


图1 澄迈湾及东水港示意图

收稿日期: 2013-10-07

作者简介: 李孟国(1964—),男,博士,研究员,主要从事海岸河口水动力泥沙研究。

本文基于现场实测资料(水深、水文、底质等)及遥感图片对澄迈湾及东水港的水动力特征、泥沙运动特征、岸线变化和岸滩演变特征进行了分析,通过潮流泥沙数学模型对潮流场和泥沙场进行了模拟研究。

1 水动力特征^[1-2]

1.1 潮汐潮流

根据2004年6月在澄迈湾进行的13个潮流测站和5个潮位测站(图1)的同步大中小潮水文全潮测验资料的分析,潮汐潮流特征如下:

1) 澄迈湾位于琼州海峡南岸,其潮汐潮流主要受琼州海峡的潮汐潮流系统控制。琼州海峡是北部湾与南海北部水体交换的潮汐通道,该海峡受两端潮波的影响,潮波传播情况相当复杂。在琼州海峡的东部,潮汐类型与南海北部一致,为不规则半日潮;而在琼州海峡的西部,潮波与北部湾一致,为正规日潮。琼州海峡中部的潮汐类型基本属西部正规日潮和东部海区不正规半日潮的过渡区。澄迈湾处于琼州海峡的西部,属正规日潮类型(东水港潮汐系数 $F=7.3$,马村港潮汐系数 $F=7.1$)。

2) 据2004-06-10—2004-07-09在东水港一个月的潮位观测资料统计,东水港的最高潮位为3.07 m(秀英理论最低潮面,在东水港理论最低潮面上0.03 m,下同),最低潮位为-0.03 m,平均高潮位为2.43 m,平均低潮位为0.72 m,平均海平面为1.60 m,最大潮差为3.08 m,平均潮差为1.70 m,最小潮差为0.05 m,平均涨潮历时为12.3 h,平均落潮历时为9.4 h。

3) 澄迈湾小潮时以半日潮流为主,大、中潮时为全日潮流。潮流主要呈往复流动,外海涨、落潮流向基本与等深线平行,而泻湖口门(C3[#], C7[#]站)附近的涨、落潮流向基本与口门岸线走向一致。

4) 澄迈湾内的泻湖内潮波属驻波性质,转流时间基本与潮位一致,即同时发生在高、低潮附近;而其它海区为前进波性质,转流时间出现在中潮位附近。

5) 澄迈湾外海各测站水流运动方向在中潮位以上是向东流动,中潮位以下是向西流动,因此,具有涨潮西流、涨潮东流和落潮西流、落潮东流的变化特点,其中涨潮时段以西流为主,落潮时段以东流为主。泻湖内的潮流与外海不同,与澄迈湾内的潮流存在明显的相位差。

6) 各测站潮流相位的变化,自西向东逐渐滞后,两者相比(C1[#], C13[#]测站),西流转流滞后时间约为2.5 h,东流转流滞后时间约为0.5 h。而深海至岸边潮流相位的变化,马村港断面、东水港断面、湾中断面均表现出近岸潮流转流时间超前,外海潮流转流时间滞后的规律,两者相位差在0.5~7.0 h之间。

7) 各测站潮段平均流速的变化,大、中、小潮西流流速在0.09~0.62 m/s之间;东流流速在0.05~0.79 m/s之间,其特点是东流大于西流。

8) 流速的平面分布:位于玉包角、天尾角岬角、东水港湾口和外海深海区的流速明显大于浅水区流速。

9) 澄迈湾西流平均历时约为15.3 h,东流平均历时约为8.9 h,两者相比,西流历时大于东流历时。

1.2 余流

根据2004年6月的水文全潮资料分析,大、中潮时,余流流速介于0.02~0.19 m/s之间,在澄迈湾西部各测站及C10[#]测站的余流流向为西向,其余测站所在区域余流流向为东向;小潮时,余流流速约在0.04~0.15 m/s之间,流向为西向(C7[#]测站余流方向为129°)。

1.3 风和波浪

琼州海峡受冷空气和热带气旋的影响,冬季盛吹N向风和NNE向风,夏季盛吹SE向风和SSE向风。受冷空气影响的琼州海峡风力一般为4~5级,极少出现≥6级大风。而受热带气旋的影响,每年5—11月,海峡风力会明显增大,但一般都不会超过9级,并且持续时间也不会太长,一般情况下≥6级所持续的时间为1 d,极少出现2 d的情况。

另外,从1996年新海站实测风速和风向的变化情况来看,澄迈湾海域年内风向具有明显的季节性,每年4—8月主要吹SSE向风,9月—翌年3月主要吹NNE—NE向风,年平均风速为4.4 m/s。其中:NE向风出现频率最大,占16%,年平均风速为5.3 m/s;NNE向和SSE向次之,频率分别占11%和8%,年平均风速分别为5.3 m/s和3.3 m/s。但在1996年9月20日,因受9618号热带气旋的影响,本站测到最大风速可达35 m/s,风向为WSW向。

根据1996年新海站(20°03'N, 110°09'E) -10 m水深附近实测波浪统计结果,该站出现的波浪主要以风浪为主、涌浪为辅。其中:常浪向为ENE向,频率为19.95%;次常浪向为NE向和NNW向,频率分别为14.12%和5.83%;强浪向为NE向和WNW向。最大波高 $H_{1/10} = 3.8$ m,最大周期为7.5 s;全年平均波高 $H_{1/10} = 0.8$ m,平均周期为3.5 s。但因受1991年8月和1996年9月20日的9111号和9618号热带气旋的影响,本站实测到最大波高分别为6.2 m和5.4 m,最大周期分别为7.4 s和7.5 s,瞬时最大风速为35.7 m/s和35.0 m/s,风向为NW向和WSW向。

根据1960—1969年玉包角站(19°59'N, 109°53'E) -10 m水深附近波浪统计结果,该站出现的波浪是以风浪占绝对优势,涌浪较少。常浪向和强浪向均为NE向,出现频率为30.82%,次常浪向为ENE向,频率为24.26%;最大波高为7.7 m,波向为NE向,最大周期为7.1 s。全年平均波高 $H_{1/10} = 0.6$ m,平均周期为2.9 s。

东水港的常浪向为NE向,强浪向为NW向^[3]。澄迈湾25 a和50 a一遇波浪较强,最大 $H_{1\%}$ 波高在7 m以上;东水港近岸和小于5 m水深的浅水区,在大浪作用时,均处于破碎带内,设计波高可取极限破碎波高^[3]。

2 泥沙特征

2.1 含沙量

1) 东水口外近岸区的含沙量,1993年实测

值为0.007~0.082 kg/m³,其中东、西流平均含沙量分别为0.022 kg/m³和0.020 kg/m³。

2) 2004年4月实测值为0.003~0.012 kg/m³,其中东、西流平均含沙量分别为0.005 kg/m³和0.007 kg/m³。

3) 在2004年6月水文全潮测验中,无论是在深水区还是在浅水区,采集到的大、中、小潮各层水样都很清,测定含沙量极小,基本为零。

上述含沙量特征表明,本海区在一般天气情况下水体含沙量不大的特点是非常明显的,这种水清沙少的优势为东水港的建设提供了有利条件。

2.2 底质

在澄迈湾分别于1993年、1997年和2004年开展过底质泥沙采集及分析工作。其中2004年6月现场底质泥沙采集的范围是以东水港为中心,向东至天尾角、向西至玉包角。其中在天尾角和玉包角附近采集了自岸到-30 m水深处的底质沙样,其余海域采集了自岸到-20 m处的底质沙样。本海区沉积物的组成,从1993年、1997年和2004年大量底质实测结果来看,整个湾内的底质泥沙主要由砾石、砾沙、粗沙、中沙、细沙、粉沙质黏土、黏土质粉沙和淤泥等物质组成,不同海域沉积物的变化,其规律是自岸向海呈3个宽度不同的带状,并呈粗、细、粗分布。

近岸带:在马村—天尾角之间,位于近岸一侧分布着一个小于1.0 mm的中沙-粗沙带,泥沙中值粒径在0.233~0.736 mm之间,平均值约为0.495 mm;在东水泻湖口门附近,存在一个中值粒径大于1.0 mm的极粗沙区,分布宽度明显大于其它岸段,泥沙中值粒径约在1.034~1.341 mm之间,平均值约为1.204 mm。

中间带:主要分布着细颗粒泥沙,泥沙中值粒径在0.003 3~0.010 0 mm之间,平均值约为0.005 7 mm;该带内泥沙分布的特点,无论沿东西方向还是南北方向,泥沙粒级变幅不大,总体是以细颗粒物质为主,其中含泥量37.1%~55.3%。

深水区:在东水泻湖口门与天尾角之间的中部并位于-10~-20 m水深分布着一块泥沙粒径大于

1.0 mm的极粗沙区,泥沙中值粒径约为1.49 mm。另外,在-20 m等深线以外海域也分布着多块砾石区,主要为细砾和中砾,并呈西粗东细分布,其中:西侧最粗砾石约为20 mm×50 mm;中部最粗砾石约为25 mm×30 mm,东侧最粗砾石约为1.5 mm×10 mm。

本海区沉积物随水深的不同,则分选系数也存在明显的差异。在近岸带,分选系数为0~0.6,分选度属很好范畴;中间带,分选系数为1.4~2.2,分选度属中常范畴;深水区分选系数为0.6~1.4和0~0.6,分选度属好和很好范畴。

2.3 泥沙来源

2.3.1 河流输沙

东水泻湖口门以外的东、西两侧无河流注入,仅在东水泻湖内有一条小河注入,该河的流域面积及径流量都很小,平均流量小于10 m³/s。该河没有输沙量资料,但从1993年与2004年水深对比和沉积分布分析来看,该河流的年输沙量低于2.4万m³。

2.3.2 波浪潮流作用下附近岸滩侵蚀来沙

根据1993年和2004年水深图比较,在澄迈湾内自岸至-20 m等深线范围内,共计冲刷约1 000万m³,平均冲刷约90万m³/a,这些冲刷的泥沙可为东水泻湖口附近地形演变提供沙源。

根据波浪沿岸输沙计算^[3],在东水泻湖口门附近,由于波浪引起的年沿岸输沙能力接近20万m³,以从E向W输沙为主,与文献[4]的结论基本一致。但由于沙源不足,并受已建港口工程的拦截,实际输沙量将远小于计算的输沙能力。

2.3.3 外海来沙

1) 东向来沙。

已有研究表明,海峡内自东向西的泥沙输送,主要以南渡江供沙为主(据50年代、60年代和70年代的观测,每年入海沙量分别为68万t,52万t和32万t,呈逐年减少趋势);其次为局部岸段的冲蚀(如白沙角及其东侧沿岸沙堤的年最大侵蚀后退距离可达20 m);海峡内净输沙方向为西向,年平均输沙率为15万m³(岛脚沙至美丽

沙岸段)。现场踏勘查明,在粤海铁路港口北防波堤外侧,出现了一块堆积体,而在南防波堤外侧,没有出现此堆积地形。这种地形变化的差异性,说明琼州海峡西向输沙除主要沉积在海口湾内,仍会有部分泥沙绕过天尾角向西南方向输移,但量不大。

遥感卫片分析表明^[5],自东向西的浑水带一直可延续至东水泻湖口门处,从而证明了琼州海峡西向输沙时会有部分泥沙绕过天尾角向西南方向输移。

2) 西向来沙。

从底质的重矿物组成来看,西部马村岬角为玄武岩,该岬角侵蚀的橄榄石含量是自西南向东北减少,从而反映了西向来沙的影响。遥感卫片分析表明^[5],东水泻湖口门西侧的浑水区基本达不到该口门处。

3) 横向来沙。

经分析,本海区泥沙无论自内向外还是自外向内的横向泥沙运动并不强烈(工程区年平均横向输沙量为0.689 m³/m,方向是向海侧输移,其量不大)^[3];另外,在水深-10 m以外,底部物质较粗,难以出现对底部物质形成强搬运的波况,如果港区的防波堤头建在-10 m水深后,将基本不会因横向输沙给外航道水深维护带来威胁。

综上,在东水港区海域的泥沙来源中,外海来沙及琼州海峡南渡江入海泥沙的补给量均很有限,而泻湖内洪水来沙和澄迈湾浅海区侵蚀供沙是本港区泥沙淤积的主要沙源。

3 岸滩演变及岸线变化分析

3.1 水深图对比分析

为了分析工程区附近海域的冲淤变化,收集了本海区1993年1:2 000及1:5 000和2004年1:2 000及1:10 000水深图。根据该水深图分别对不同等深线和不同断面水深进行了比较分析。1993—2004年期间,在澄迈湾海域和泻湖内的水深变化具有以下特点:

1) 在 -5 m 等深线以外海域, 各等深线之间均向岸边后退, 海床以冲刷为主。其中在东部海区等深线变化量较小, 在中部和西部变化量较大。经水深比较, 11 a 间, 平均冲深变化约 0.25 ~ 0.51 m, 平均冲深值约 0.39 m。

2) 在 -5 m 等深线至岸边海域, 各等深线有伸有退, 但冲淤变化量不大。其中: 口门附近断面水深每年淤浅在 0.01 ~ 0.09 m 之间, 平均淤浅值为 0.03 m; 其余各断面则以冲深为主, 冲深值在 0.05 ~ 0.51 m 之间, 平均冲深为 0.27 m。

3) 在泻湖内, 海床变化总体趋势是以淤积为主。其中: 口门附近水深变幅最大, 平均淤浅约为 0.15 m; 在泻湖尾端, 平均淤浅约为 0.13 m; 而在中间段有冲有淤, 主要以淤积为主, 平均淤浅约为 0.03 m。

3.2 卫星遥感分析

根据 1994—2004 年共 11 a 的潮位相当的卫星遥感卫片分析^[5], 澄迈湾天尾角至玉包角的岸线没有发生变化, 岸滩处于基本稳定状态。20 世纪 90 年代以来曾有多次台风影响到该海域, 而经历多次台风侵袭后仍能维持稳定的岸滩, 说明该弧形海岸的形成是多年波浪、潮流共同作用的结果, 而台风的某次破坏作用可能会使岸滩地形、地貌发生变化, 但是经过长期的波流塑造作用后, 岸滩将逐渐恢复到原来的动态平衡中。

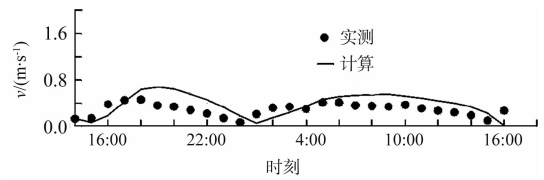
4 潮流泥沙数学模型

4.1 潮流泥沙数学模型的建立和验证

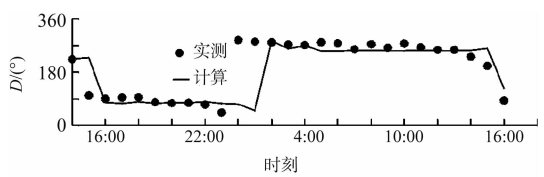
采用 TK-2D 软件^[6], 建立了澄迈湾考虑波浪作用的二维潮流泥沙数学模型^[2], 南边界到湾顶, 北边界为 20°5' 纬度线, 东边界至 110°9.8' 经度线, 西边界至 109°56.5' 经度线, 东西长 23.4 km, 南北宽 15.9 km。采用三角形网格剖分计算域, 三角形网格节点数为 17 324 个, 三角形单元个数为 33 941 个, 相邻网格节点最大间距为 200 m, 最小间距为 30 m。

采用 2004 年 6 月的实测大、中、小潮过程对模型进行了验证, 每个潮均有 13 个测站的水文全

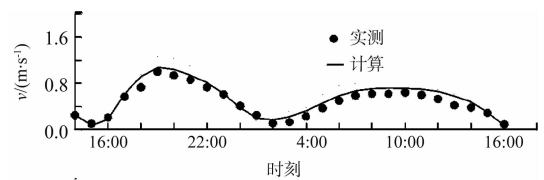
潮资料及与水文全潮同步的 5 个潮位站的潮位资料 (图 1), 图 2 为东水泻湖附近 5 个站的大潮流速流向验证过程。



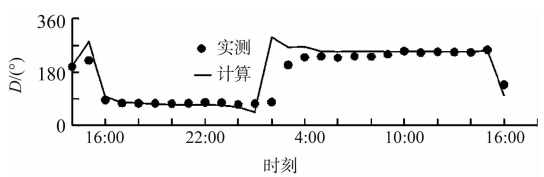
a) C10#流速



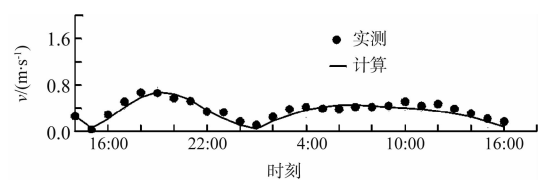
b) C10#流向



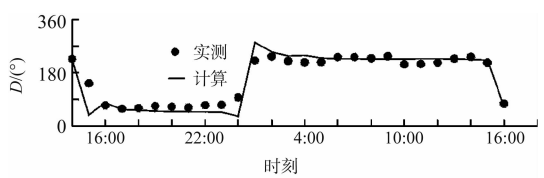
c) C9#流速



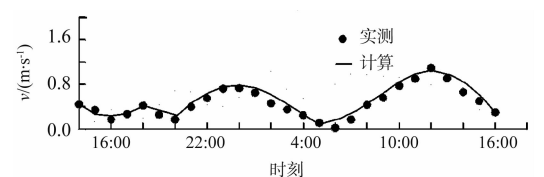
d) C9#流向



e) C8#流速



f) C8#流向



g) C7#流速

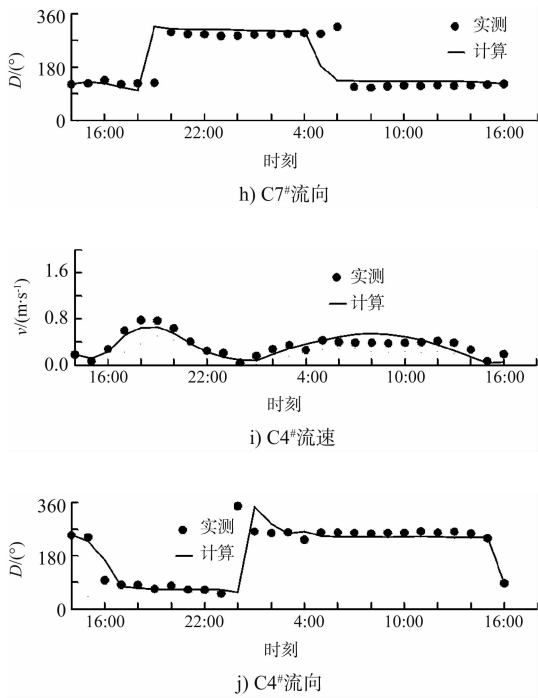
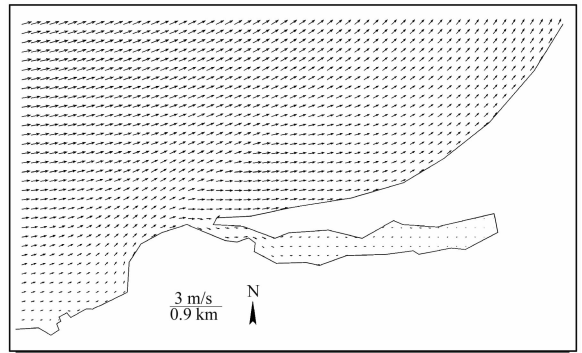
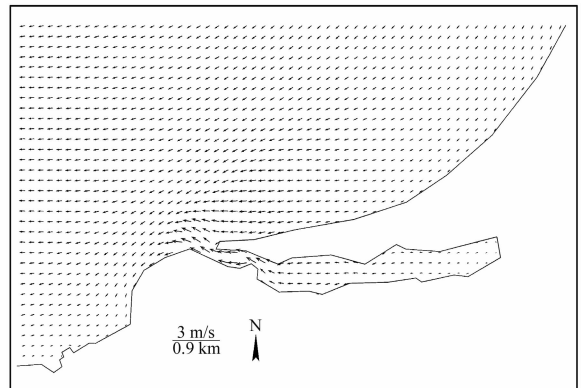


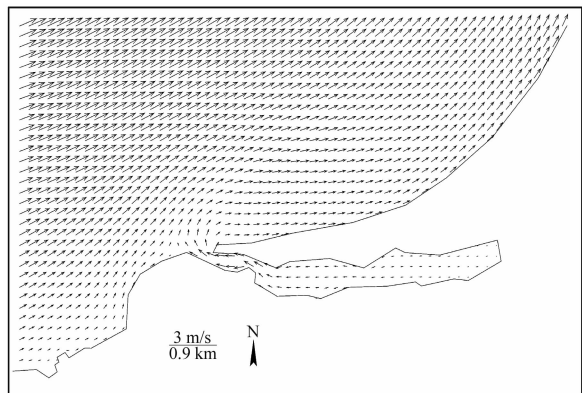
图2 大潮流速流向验证



b) 东水泻湖涨潮、澄迈湾东流



c) 东水泻湖落潮、澄迈湾西流



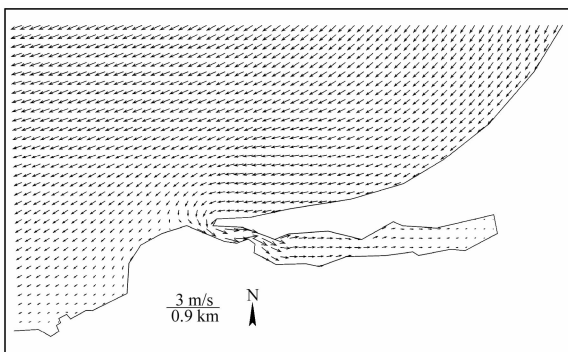
d) 东水泻湖落潮、澄迈湾东流

图3 东水泻湖及澄迈湾各种流态

4.2 潮流泥沙数值模拟结果分析

1) 潮流特征。

工程海区涨落潮流为顺着湾形的弧状往复流(图3),从湾顶岸边向外流速逐渐增加。东水港泻湖内的涨落潮流与澄迈湾的涨落潮流存在位相差,即东水港泻湖涨潮时,澄迈湾可能西流(图3a),也可能东流(图3b),东水港泻湖落潮时,澄迈湾可能西流(图3c),也可能东流(图3d)。在澄迈湾憩流时正是泻湖内流速最大的时刻,这种位相差别必将会使泻湖内的泥沙随较强的落潮流向口门外输送,在口门外易于沉积而形成拦门浅滩。



a) 东水泻湖涨潮、澄迈湾西流

工程海区流速不大,潮流动力不强,东水港区口门以外一定范围内的大潮平均流速在0.6 m/s以内,东水港所在泻湖的入口窄口段流速较大,大潮平均流速达0.89 m/s。

2) 小风天的悬沙场特征^[2]。

实测资料分析表明,本海区的正常天气条件(无风天)下海水含沙量接近零值。为了了解小风天条件下的海水悬沙场分布情况,采用泥沙数学模型手段对其进行了模拟。波浪条件采用本项研究的波浪数学模型计算的平均波浪场^[3]。大中小潮平均的悬沙场分布见图4。

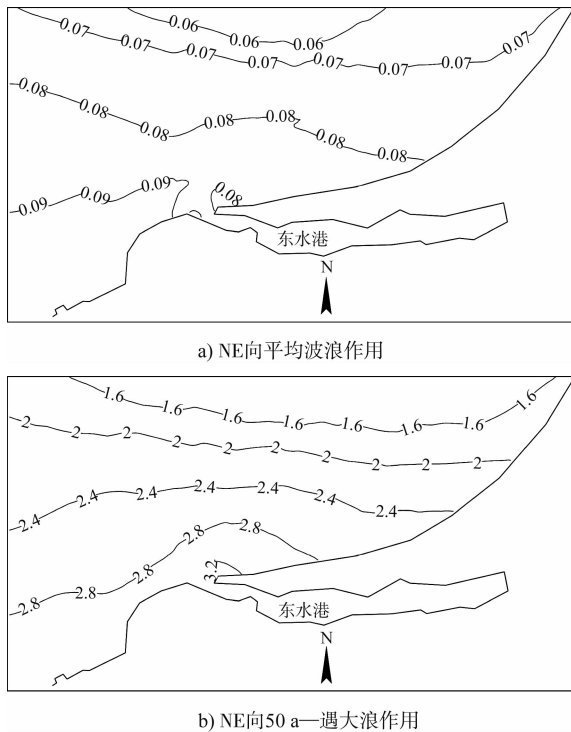


图4 大中小潮平均含沙量分布 (单位: kg/m³)

平均波浪作用下,海水含沙量大小随着潮型的不同而不同,即大潮大于中潮,中潮大于小潮;另外,从外海向岸边含沙量逐渐增大。大潮时,港区口门含沙量可达 0.2 kg/m^3 ,而中、小潮的含沙量均小于 0.1 kg/m^3 ,大中小潮平均港区口门含沙量在 0.09 kg/m^3 左右。因此,平均波浪作用下海区含沙量仍很小。

3) 大风天的悬沙场特征^[2]。

无风天和小风天的海水含沙量很小,大风天的情况如何呢?为了了解大风天条件下的海水悬沙场分布情况,同样采用泥沙数学模型手段对其进行了模拟。波浪条件采用 NE 向 50 a 一遇波浪场^[3]。

和小风天情况类似,海水含沙量大小仍具有大潮大于中潮、中潮大于小潮、近岸大于外海的规律。和小风天情况不同,大风天时海水含沙量骤增。50 a 一遇波浪作用时,港区口门大潮平均含沙量达 4 kg/m^3 以上,中潮平均含沙量达 3 kg/m^3 以上,小潮平均含沙量达 2 kg/m^3 以上,港区口门大中小潮平均含沙量达 3 kg/m^3 以上(图4)。

5 结论

1) 澄迈湾东水港泥沙来源少、波浪沿岸输沙

量有限、正常天气条件(无风天和小风天)水体含沙量很小、自然水深条件好,具备建设深水港的良好条件。

2) 澄迈湾潮波呈前进波性质,中潮位以上是向东流动,中潮位以下是向西流动,即涨潮时段以西流为主,落潮时段以东流为主。而东水港潮波却呈驻波性质,即泻湖内的潮流与外海不同,与澄迈湾内的潮流存在明显的相位差。

3) 澄迈湾小潮时以半日潮流为主,大、中潮时为全日潮流。潮流主要呈往复流动,外涨、落潮流向基本与等深线平行,在近岸,潮流顺岸线流动,从湾顶岸边向外流速逐渐增加。

4) 澄迈湾岸线稳定。岸滩总体稳定,由于缺少外来沙源,岸滩处于冲淤基本平衡略有冲刷的状态。

5) 东水港的常浪向为 NE 向,强浪向为 NW 向。波浪沿岸输沙由东向西。重现期 25 a 一遇和 50 a 一遇波浪动力强。大浪作用下东水港近岸和小于 5 m 水深的浅水区,均处于破碎带内,含沙量明显增大。东水港口外航道宜建设防波拦沙堤,最好伸出破碎带。

参考文献:

- [1] 杨树森,韩西军,李孟国.东水港区总体规划及起步方案泥沙淤积影响分析研究报告[R].天津:交通运输部天津水运工程科学研究所,2004.
- [2] 李孟国,杨树森,韩西军.东水港区总体规划及起步方案二维潮流泥沙场数学模型计算研究[R].天津:交通运输部天津水运工程科学研究所,2004.
- [3] 陈汉宝.东水港区总体规划及起步方案波浪数学模型研究报告[R].天津:交通运输部天津水运工程科学研究所,2004.
- [4] 陆培东,杨健,丁家洪.海南省东水港建港工程地貌研究[J].南京师范大学:自然科学版,1996,19(2):77-84.
- [5] 赵洪波,杨树森.海南澄迈湾海域泥沙运动及岸线演变遥感分析[C]//左其华,窦希萍.第十二届中国海岸工程学术讨论会论文集.北京:海洋出版社,2005.
- [6] 李孟国,张华庆,陈汉宝,等.海岸河口多功能数学模型软件包 TK-2D 的研究与应用[J].水道港口,2006,27(1):51-56.

(本文编辑 武亚庆)